

サイフォン吸引による堆積土砂・汚泥除去装置の開発

○ 佐田富 道雄，川原 顕磨呂，田方 太郎（熊本大学大学院自然科学研究科，機械システム工学部門），道津 雄一（熊本大学工学部知能生産システム工学科）

1. はじめに 水源地や水力発電用などのダム湖では，上流から流れてきた土砂や落葉などが湖底に堆積して，貯水量を減らすと共に水質も悪化させている．このような堆積物をサイフォン吸引作用により除去する装置を佐田富が考案した（熊本大学へ発明届提出済み）．その装置の実用化を目指すために小規模装置を作って実験と解析を始めたので，その概要を紹介する．

2. 考案装置の概要 図1に考案装置を示す．独創性は，サイフォン管5の外側でスライドする吸引部4にある．まず，サイフォン管5と吸引部4の重なりが最大の状態で，吸引部4の下部が堆積物に触れるように5を固定する．これは堆積物の排出によって湖底が下がっても，吸引部4との間隔を適正に保つためである．次に吸引部4の下部構造を説明する．上部円板，同じ直径の下部金網（閉塞防止用），整流用の仕切り板，および数本の脚からなる．仕切り板を設けたのは自由渦の発生により土砂に遠心力が働くことを避けるためである．これにより，堆積物は水流速が大きい管中心部を通ることができ，効率的であると共に管の磨耗を少なくすることができる．

設置直後の作動では，弁1と2を閉じた状態で弁3を開けて給水し，サイフォン管を水で満たしたのちに弁3を閉じて弁2を開ける．その後は，堆積物を排出する時だけ弁1を開ける．制御を使わない単純システムなので故障しにくく低コストで作れることに特徴がある．

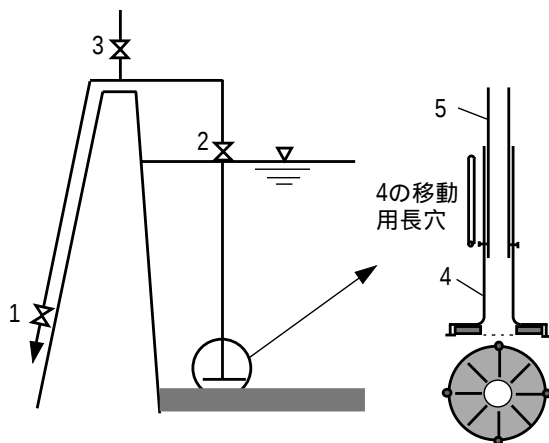


図1 考案装置の概要

3. 小規模装置による実験

図2に高さ2 m弱の小規模装置の全景を示す．幅600 mm，高さ450 mm，奥行450 mmの亚克力水槽に，常温の水道水と堆積物を模擬した平均粒径2.13 mm (1.91- 2.31 mm)・密度3665 kg/m³

のセラミック粒子40 kgを入れた．サイフォン管は内径20 mmとし，サイフォン出口と水槽水面との高低差は0.4 - 1.0 mの範囲で変えた．実験では，排出した水と粒子と同体積の水を下部水槽内の水中ポンプで汲み上げて，水槽の水面高さを一定にした．そして，サイフォン管内の粒子の体積率を定電流法で，排出した水と粒子の流量を重量法で，それぞれ測定した．なお，サイフォン管吸引部4は本試験では簡単のために整流用の仕切り板と下部金網を持たない形とした．図3は粒子吸入中のサイフォン管吸引部の写真である．



図2 試験装置の全景



図3 粒子吸入中のサイフォン管吸引部

4. 解析

大型装置の設計に必要な解析コードの構築を目的として，簡単な解析を行った．解析では，水と粒子の混合物を均質流体^[1]と仮定し，基礎式は次のエネルギー保存式とした．

$$\rho_H gH = \rho_H \frac{v_H^2}{2} + \left(k + \lambda \frac{l}{d} \right) \rho_H \frac{v_H^2}{2} \quad (1)$$

ここで、 ρ は密度、 v は平均速度、 g は重力加速度、 H は水槽の水面からサイフォン管出口までの高低差、 k は管入口・弁・曲管の全てを考慮する損失係数（管入口に網を張って水のみを流出させた実験から求めた値 17.9 を使用）、 λ は管摩擦係数（ブラジウスの式で計算）、 d と l は管の内径と全長である。添字 H は均質混合物を表す。式(1)では管出口を基準高さとしており、左辺は水槽の水面におけるエネルギーを、右辺は管出口におけるエネルギーと諸損失を表している。なお、圧力は両地点とも大気圧であるので、その効果は無視できる。式(1)を簡単化すると、次式となる。

$$v_H = \sqrt{\frac{2gH}{1+k+\lambda(l/d)}} \quad (2)$$

均質流では、速度は水と粒子で等しく（ $v_L = v_S = v_H$ ）粒子の管内体積率 α_S は体積流量率 $\beta_S = Q_S/(Q_S + Q_L)$ に等しいので、管断面積を A とすると、水と粒子の体積流量は次式で求められる。

$$Q_L = v_H (1 - \beta_S) A, \quad Q_S = v_H \beta_S A \quad (3)$$

ここで、 β_S は現時点では予測困難であったので、入力データとして与えることにした。

5. 実験結果および考察

図4に、粒子の管内体積率 α_S の測定結果を○印で示す。横軸は管出口と水槽水面との高低差 H であり、 Q_S と Q_L の実験値から求めた体積流量率 β_S も○印で併記した。 α_S は $H < 0.6$ m では H と共に増えたが、 0.6 m $< H$ では 0.23 - 0.24 の一定値となった。そして、 α_S は概ね $\alpha_S = 0.71\beta_S$ となることが分かった。なお、 α_S が $H < 0.6$ m で小さいのは、粒子の浮遊に必要な水の吸込み量が少し足りなかったためであろう。他方、 0.6 m $< H$ での α_S は予想以上の高さであり、粒子が閉塞する時の 1/2 近くであった。このことは、本粒子排出システムの性能が良好であることを示している。

図5に、水と粒子の体積流量 Q_L と Q_S の測定結果を○印と●印で示す。横軸は高低差 H である。水流量には ± 1.0 l/min 程度の測定誤差があったが、流量は水・粒子共に高低差 H が大きいほど大きく、予想通りの性能を示した。

解析では、図4の結果を考慮して体積流量率 β_S を 0.2, 0.3, 0.4 の一定値として Q_L と Q_S を計算した。その結果、実験値と計算値は定性的によく一致し、水の吸込み量が十分である 0.6 m $< H$ では、 β_S を 0.33 程度にとると両者は定量的にも一致すること

が明らかとなった。

なお、サイフォン管吸引部4下部の円板は、サイフォン作用により円板下部が負圧となるため、粒子層に吸い付くような感じで非常にうまく降下した。このため、水と粒子の排出流量は、吸込み開始直後を除き、堆積した粒子が無くなるまでほぼ一定の値を示した。

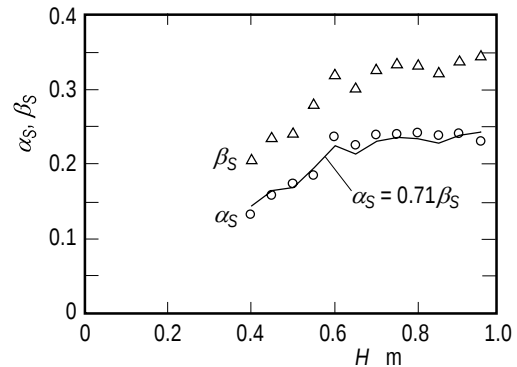


図4 粒子の管内体積率 α_S と体積流量率 β_S の関係

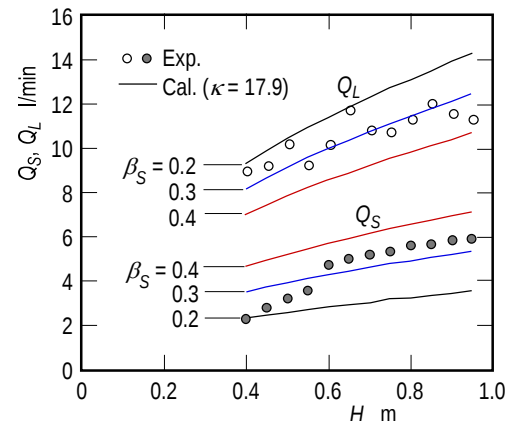


図5 水と粒子の体積流量 Q_L と Q_S に関する実験値と解析値の比較

6. おわりに

サイフォン吸引作用により堆積物を除去する装置を考案し、小規模装置を作って実験と解析を行った。その結果、装置は良好な性能を示し、その性能は簡単な解析モデルで定性的に表しうることが明らかとなった。今後は大規模装置の設計指針を得るべく、粒子の粒径、サイフォン管の管径と高低差を変えて実験値を採取するとともに、解析コードの高精度化を図って行きたい。

参考文献

[1] 例えば、日本機械学会編、気液二相流技術ハンドブック、1989、コロナ社、東京、pp. 60 - 74.

[問合せ先] 熊本大学大学院自然科学研究科

機械システム工学部門 佐田富 道雄

Tel & Fax: 096-342-3757

E-mail: sadatomi@mech.kumamoto-u.ac.jp